



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tentang Kajian penempatan kapasitor bank menggunakan metode genetika algoritma pada south balam feeder 1 pt chevron pacific indonesia. Penelitian ini bertujuan agar tegangan kerja sistem dapat di capai $\geq 95\%$ atau $\geq 13,11$ kV dari tegangan nominal maka diperlukan untuk memperbesar kapasitas bank dari 2400 kVar yang ditempatkan pada titik : X2 : X4: X5: X8 dan X10 dengan masing-masing kapasitor= 600 kVar[8].

Penelitian tentang studi penempatan kapasitor pada sistem distribusi. Penelitian ini untuk menyuplai daya reaktif pada sistem distribusi, adalah dengan menambahkan bank kapasitor pada titik (bus) yang lemah. Penambahan daya reaktif pada sistem memungkinkan diperoleh perbaikan pada sistem berupa losses daya yang lebih kecil sebesar 6.657 MW.[9].

Penelitian tentang Studi Kestabilan Tegangan Jaringan IEEE 9 Bus Menggunakan Indeks Kestabilan Tegangan. Metode *Voltage Stability Indeks* (VSI) digunakan untuk mengetahui tingkat kestabilan tegangan dan mengetahui bagian sistem yang paling berpartisipasi atau rawan terhadap ketidakstabilan tegangan. Pada skenario 1 sistem mampu menjaga kestabilannya hingga detik ke 12.83 dan saluran paling rawan ketidakstabilan pada bus 4 ke bus 5, dimana pada detik ke 13 nilai kestabilan adalah 0,976. Pada skenario 2 sistem menjaga kestabilan hingga detik ke 23.92 dan saluran paling rawan ketidakstabilan pada bus 7 ke bus 8 dimana pada detik ke 24 nilai kestabilan adalah 0,9073[7].

Penelitian tentang Evaluasi penempatan *Distributed Generation* (DG) untuk meningkatkan keamanan dan stabilitas tegangan sistem tenaga menggunakan *Nose Curve Method*. Metode *nose curve* (kurva P-V) ini dapat menjelaskan hubungan antara tegangan dan daya aktif pada suatu bus. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa profil tegangan yang baik dapat dipertahankan dengan penempatan DG pada bus yang memiliki beban yang besar yaitu dengan penambahan beban mencapai 65% dari beban dasar. Penelitian ini dapat menunjukkan kondisi



keamanan tegangan pada setiap bus suatu sistem tenaga sehingga dapat mengurangi putusnya pelayanan akibat ketidakstabilan yang terjadi [10].

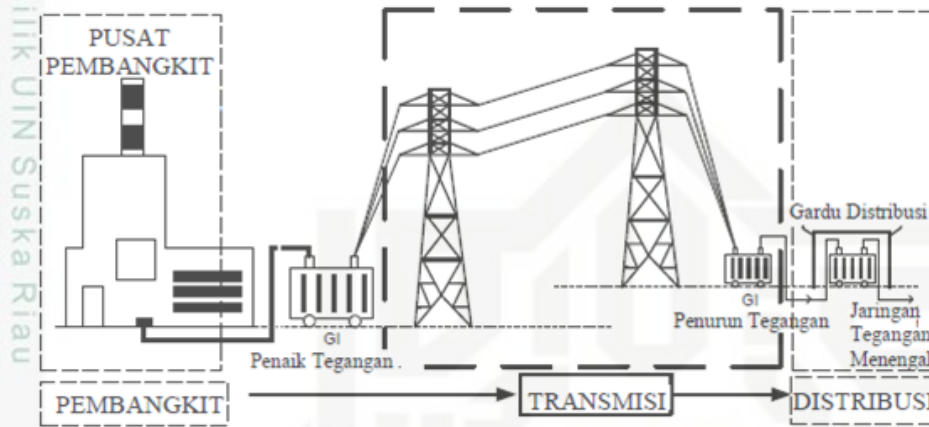
Penelitian tentang meminimalkan rugi-rugi pada sistem distribusi tegangan menengah dengan pemasangan kapasitor. Dengan pemasangan kapasitor pada bus 30 54 di penyulang durian 3 rugi-rugi daya berkurang yang mana sebelum pemasangan kapasitor sebesar 15 kVAR rugi-rugi daya berkurang menjadi 1101.99 kW, sehingga penurunan rugi-rugi daya sebesar 1.40 kW.[11].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa pemasangan DG pada jaringan dapat mengurangi rugi-rugi daya dan rugi tegangan, pada penelitian sebelumnya tidak langsung disimulasikan ke jaringan listrik hanya dilakukan pada simulasi sistem IEEE sedangkan pada penelitian ini akan disimulasikan langsung untuk penempatan dan kapasitas DG pada sistem jaringan distribusi penyulang OGF Sorek Rayon Pangkalan Kerinci. Simulasi aliran daya pada penelitian ini menggunakan metode newton raphson pada aplikasi ETAP. Metode VSI pada penelitian ini digunakan untuk menghitung indeks kesetabilan tegangan pada bus, yang mana akan dilakukan penempatan DG pada bus yang mempunyai nilai indeks terkecil dan akan dihitung juga kondisi kestabilan tegangan setelah pemasangan DG. sementara penelitian dengan metode yang sama hanya digunakan sebagai informasi penting tentang kestabilan tegangan sebuah sistem tenaga listrik.

2.2 Sistem Tenaga Listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk dipelajari. Mengingat penyaluran tenaga listrik ini, prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR), sedangkan suatu saluran transmisi

berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik bertegangan ekstra tinggi ke pusat-pusat beban dalam daya yang besar (melalui jaringan distribusi). Pada gambar 2.1 dibawah ini dapat dilihat, bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dan dikirimkan ke konsumen melalui Pusat Pembangkit Tenaga Listrik, Gardu Induk, Saluran Transmisi, Gardu Induk, Saluran Distribusi, dan kemudian ke beban (konsumen tenaga listrik)



Gambar 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik [12]

Sistem pembangkit (*generation plant*) terdiri dari satu atau lebih unit pembangkit yang akan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dan harus mampu menghasilkan daya listrik yang cukup sesuai kebutuhan konsumen. Sistem transmisi berfungsi mentransfer energi listrik dari unit-unit pembangkitan di berbagai lokasi dengan jarak yang jauh ke sistem distribusi, sedangkan sistem distribusi berfungsi untuk menghantarkan energi listrik ke konsumen, seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini. Berikut adalah perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi:

Tabel 2.1 Perbedaan antara jaringan distribusi dengan jaringan transmisi[13].

Dilihat dari Segi	Jaringan Distribusi	Jaringan Transmisi
Letak lokasi jaringan	Dalam kota	Luar kota
Tegangan system	<30 KV	>30 KV
Bentuk jaringan	<i>Radial, Loop, Paralel Interkoneksi</i>	<i>Radial dan Loop</i>
Sistem jaringan	Saluran udara dan saluran bawah tanah	Saluran udara dan bawah laut



Kontruksi jaringan	Lebih rumit dan beragam	Lebih sederhana
Analisa rangkaian	Lebih kompleks	Lebih sederhana
Komponen rangkaian yang diperukan	Komponen R dan L	Komponen R, L dan C
Penyangga jaringan	Tiang jaringan	Menara jaringan
Tinggi jaringan	Kurang dari 20 m	30 – 200 m
Kawat pengantar	BCC, ASC, ACC, dan AAAC	ACSR dan ACAR
Kawat tarikan	Dengan kawat tarikan	Tanpa kawat tarikan
Isolator jaringan	Jenis pasak (pin) Jenis pos (batang) Jenis gantung Jenis cincing	Jenis gantung

2.3 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi adalah suatu sistem jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pusat listrik hingga kerumah-rumah dan konsumen lainnya (pelanggan). Dalam istilah lain dijelaskan bahwa sistem distribusi adalah keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (seperti pada gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik. Secara umum yang termasuk ke dalam sistem distribusi antara lain:

1. Gardu Induk

Gardu Induk merupakan unit di dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Di dalam Gardu Induk ini tegangan dari sistem transmisi (150kV-500kV) akan diubah menjadi tegangan untuk distribusi (20kV).

2. Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem



distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan. Seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 500 kV, maka setelah masuk GI tegangan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan distribusi). Sehingga jaringan ini dinamakan subtransmisi karena masih bertegangan tinggi.

3. Gardu Distribusi Utama

Gardu distribusi merupakan unit dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari GI atau jaringan subtransmisi untuk kemudian disalurkan kepada penyulang primer atau langsung kepada konsumen.

4. Saluran Penyulang Utama

Saluran penyulang utama merupakan saluran atau rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antara gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi atau menghubungkan GI dengan gardu transformator distribusi.

5. Transformator Distribusi

Transformator distribusi berada di dalam gardu gardu distribusi. Berfungsi untuk mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V). Kemudian daya dengan tegangan rendah tersebut disalurkan kepada konsumen.

6. Rangkaian Sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu-gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang simpul – simpul distribusi. Gambar 2.2 merupakan contoh dari komponen penyusun sistem distribusi.

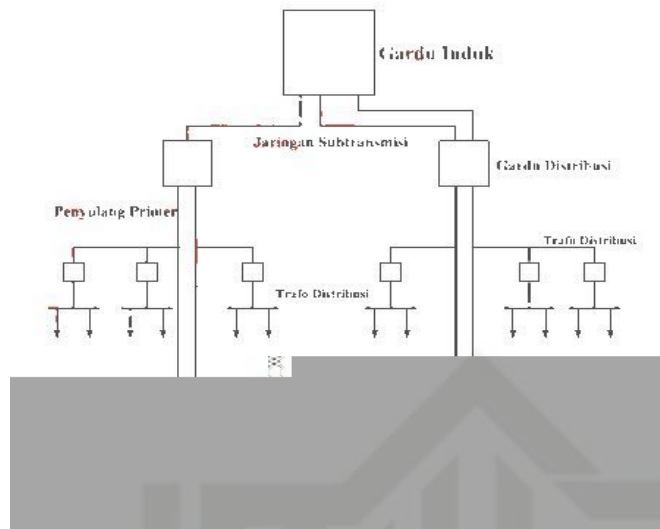
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.2. Struktur Jaringan Radial Ganda[12].

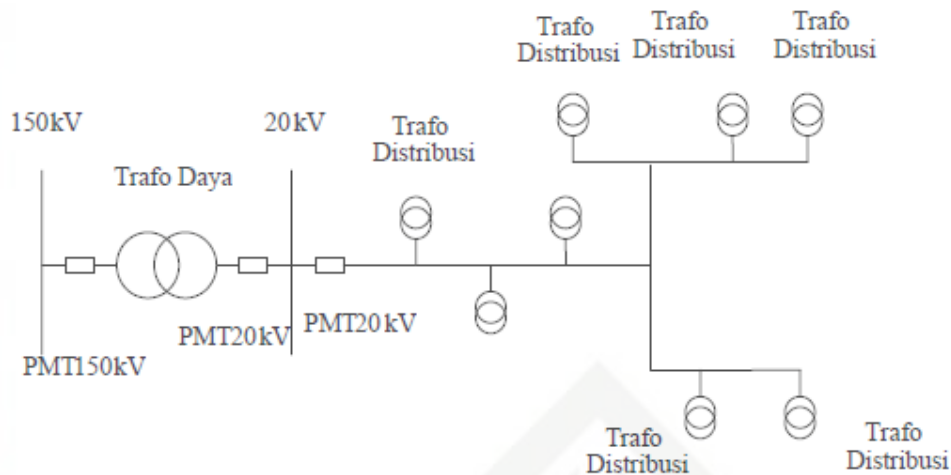
2.3.1 Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV. Sistem jaringan distribusi primer dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster [13].

a. Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola radial seperti Gambar 2.3 adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Gardu distribusi dapat diletakkan dalam bangunan beton atau diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.3 Konfigurasi Jaringan Radial [13]

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

b. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *Tie Line* seperti Gambar 2.4 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain. Sistem ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan *Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch*, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

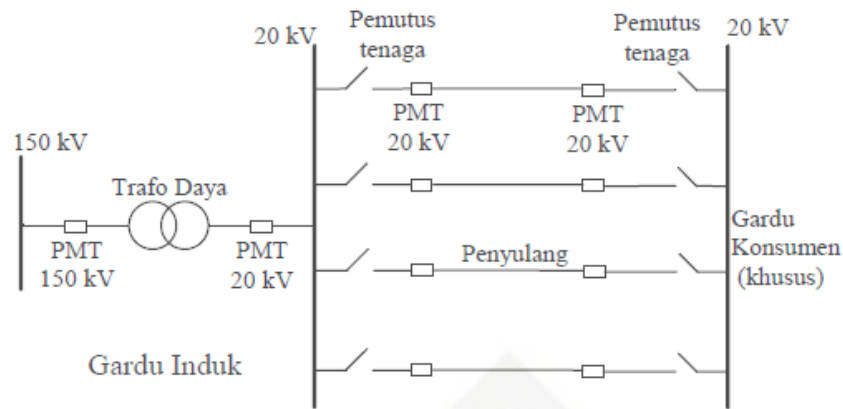
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

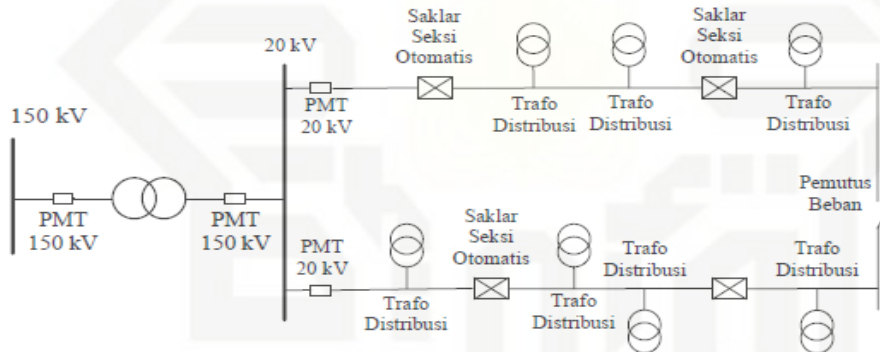
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung [13]

a. Jaringan Lingkar (Loop)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) seperti Gambar 2.5 dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Loop [13]

b. Jaringan Spindel

Sistem Spindel seperti pada Gambar 2.6 adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Sistem Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung. Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu

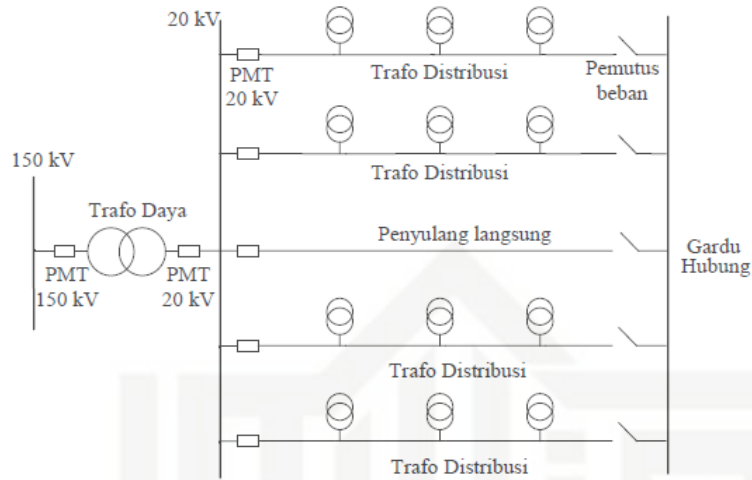
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM).



Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Spindel [13]

Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Didalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen Tegangan Rendah (TR) atau Tegangan Menengah (TM).

c. Sistem Gugus atau Sistem Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.7 banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai ke konsumen

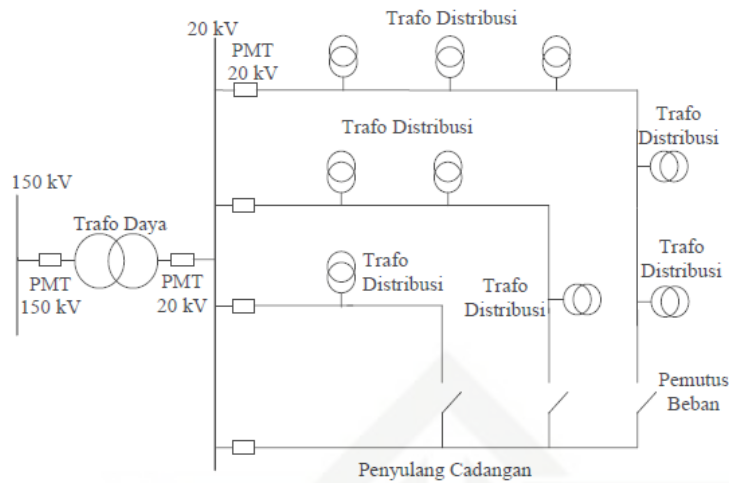
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

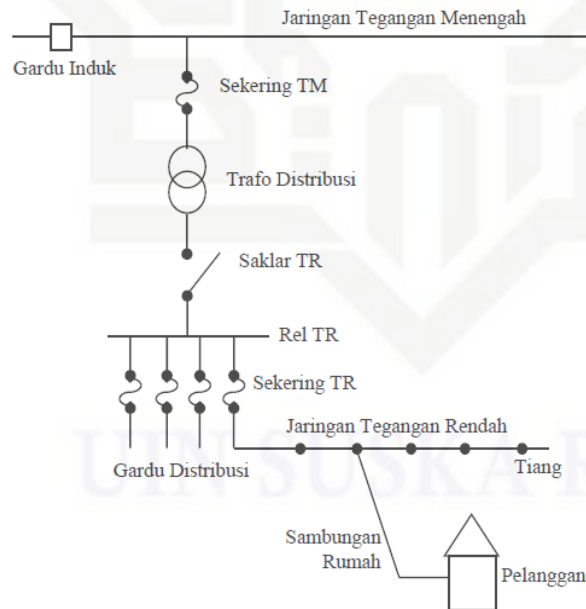
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.7 Konfigurasi Sistem Kluster [13]

2.3.2 Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut sistem distribusi tegangan rendah merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu - gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industri. [13].



Gambar 2.8 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen [13]



2.4 Persyaratan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam usaha meningkatkan kualitas, keterandalan, dan pelayanan tenaga listrik ke konsumen, maka diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut.

Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah[13] :

2.4.1. Faktor Keterandalan Sistem

1. Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam.
 Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedia tenaga listrik pada pusat pembangkit tenaga listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus menerus. Untuk itu diperlukan beberapa cadangan yaitu :
 - a. Cadangan siap, merupakan cadangan yang didapat dari suatu pembangkit yang tidak dibebani secara penuh dan dioperasikan sinkron dengan pembangkit lain guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
 - b. Cadangan panas, merupakan cadangan yang disesuaikan dari pusat pembangkit tenaga termis dengan ketel-ketel yang selalu dipanasi atau dari PLTA yang memiliki kapasitas air yang setiap saat mampu untuk menggerakkannya.
 - c. Cadangan diam, merupakan cadangan dari pusat-pusat pembangkit tenaga listrik yang dapat dioperasikan, tetapi disediakan untuk setiap saat guna menanggulangi kekurangan daya listrik.
2. Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolir sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat-alat pengaman dan pemutus tegangan (*Air Break Switch*) pada setiap wilayah beban.
3. Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerja dengan baik dan tepat.



2.4.2 Faktor Kualitas Sistem

1. Kualitas tenaga listrik yang sampai ketitik beban harus memenuhi pesyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*Voltage Regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk kualitas tegangan sampai kekonsumen stabil.
2. Tegangan jatuh atau tegangan drop dibatasi pada harga 10 % dari tegangan minimal sistem untuk setiap wilayah beban. Untuk itu, daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
3. Kualitas peralatan listrik yang dipasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*Over Voltage*) dalam waktu singkat.

2.4.3 Faktor pemeliharaan Sistem

1. Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwal secara berkesinambungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan, agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik
2. Pengadaan peralatan listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan jenis/spesifikasi material yang dipakai, sehingga bias dihasilkan kualitas sistem yang lebih baik dan murah.

2.4.4 Faktor Keselamatan Sistem Dan Publik

1. Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus diperhatikan dengan baik untuk daerah padat penduduk. Hal ini diperlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara tepat dan terpadu.
2. Keselamatan alat dan kelengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.



2.5 Penyusutan Energi Pada Penyulang

Penyulang merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan antara Gardu Induk (GI) dengan gardu gardu distribusi yang tersebar di seluruh wilayah pelayanan. Penyulang sendiri dapat dipisahkan menjadi beberapa bagian, antara lain:

2.5.1 Konduktor Fasa

Pada bagian penyulang ini konduktor fasa merupakan bagian dari penyulang yang terbuat dari bahan logam. Umumnya bahan yang digunakan berupa alumunium dan tembaga. Karena terbuat dari bahan logam, maka konduktor yang dipakai memiliki nilai resistansi (R) tertentu. Resistansi dari konduktor pada kabel merupakan bagian penting dari impedansi yang digunakan untuk studi kegagalan dan studi aliran daya. Resistansi memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap kapasitas arus yang dapat dibawa oleh kabel. Variabel umum yang mempengaruhi resistansi adalah suhu dari konduktor tersebut, dapat dikatakan bahwa resistansi meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Untuk jangkauan suhu yang luas, resistansi akan meningkat hampir linier terhadap suhu baik pada alumunium maupun pada tembaga. Efek dari suhu terhadap kenaikan resistansi dapat disederhanakan sebagai persamaan linier sebagai berikut:

$$R_{t2} = R_{t1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (2.1)$$

Dimana

α = Koefisien *temperature* dari resistansi

= 0.00404 untuk 61.2 % alumunium IACS pada suhu 20 C°

= 0.00347 untuk 6201-T81 alumunium *alloy* pada suhu 20 C°

= 0.00383 untuk tembaga *hard-drawn* pada suhu 20 C°

= 0.0036 untuk alumunium-*clad steel* pada suhu 20 C°

Yang perlu diperhatikan dalam permasalahan ini adalah ketika jaringan transmisi masuk ke dalam GI, maka tegangan sistem akan diturunkan dari tegangan tinggi untuk transmisi (150 kV) menjadi tagangan menengah (20 kV) sehingga dengan besar daya yang



sama, maka penurunan tegangan akan sejalan dengan kenaikan arus pada sistem. Arus yang besar pada konduktor dapat menimbulkan rugi-rugi daya yang besar pada konduktor tersebut karena fungsi arus merupakan fungsi kuadrat pada persamaan daya yang hilang.

Arus dengan besar 4 *ampere* membuat daya yang hilang 16 kali lebih besar dibandingkan arus sebesar 1 *ampere* pada konduktor dengan hambatan yang sama. Sementara total energi yang hilang akibat terjadinya susut daya ini dapat diperhitungkan berdasarkan persamaan berikut:

$$W_{Losses} = P_{losses} \cdot t \quad (2.2)$$

Dimana

W_{losses} = Energi yang hilang, *Joule*

P_{losses} = Daya yang hilang pada rangkaian, *Watt*

t = Waktu, detik.

2.6 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi untuk menganalisa suatu sistem tenaga listrik bertujuan untuk menentukan nilai dan besar sudut fasa tegangan pada masing-masing bus. Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, faktor daya dan daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan sistem tenaga listrik pada keadaan pengoperasian normal[14].

Studi analisis aliran daya dapat dihitung secara manual maupun menggunakan *software computer*. Studi aliran daya ini dapat didefinisikan sebagai suatu studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya yang baik dalam bentuk tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif yang terdapat dalam suatu sistem kelistrikan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik maupun menganalisa kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Dengan menggunakan studi aliran daya maka didapatkan parameter-parameter untuk melakukan proses pemrograman selanjutnya.



Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah:

1. Untuk memeriksa tegangan dan sudut fasa masing-masing bus.
2. Untuk mengetahui besarnya tegangan pada tiap bus
3. Untuk menghitung aliran daya yang terdiri dari daya aktif, daya reaktif dan sudut fasa

Terdapat 3 macam bus yang terdiri dari bagian-bagian tertentu, meliputi :

1. *Bus referensi (slack bus* atau *swing bus)*

Slack bus atau *swing bus* adalah bus yang digunakan sebagai referensi pada sistem dengan besar dan sudut fasa yang tetap. Bus ini menambah kekurangan daya antara beban total dengan daya yang dibangkitkan yang disebabkan oleh rugi-rugi pada jaringan.

2. *Load bus (bus beban) atau P-Q bus*

Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif besarnya tetap. Besar dan sudut fase tegangan nilainya tidak di ketahui.

3. *Generator bus (Q-V bus)*

Pada bus ini daya aktif dan besar tegangannya tetap. Sedangkan sudut fase dan besar daya reaktif dihitung, besar batasan daya reaktif juga ditentukan sebelumnya.

2.6.1 Daya Listrik

Daya listrik sendiri menjadi tiga bagian yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya total (S). Dimana tiap-tiap daya ini mempunyai pengertian:

- a. *Daya Aktif (P)*

Daya aktif adalah daya yang dihasilkan dari energi yang nyata dan digunakan untuk melakukan energi yang nyata pula. Pada prinsipnya daya aktif dibangkitkan dari proses konversi energi primer seperti energi panas, energi mekanik, ataupun energi potensial. Daya aktif disimbolkan dengan P dan dinyatakan dalam satuan Watt.

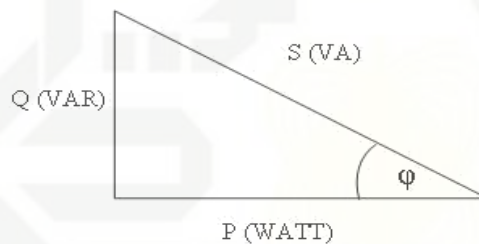
b. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet. Pada prinsipnya daya reaktif dihasilkan dari pembangkitan medan listrik pada generator sinkron melalui sistem eksitasinya. Daya reaktif disimbolkan dengan Q dan dinyatakan dalam satuan VAR

c. Daya Total

Daya total ialah total daya yang dihasilkan oleh proses pembangkitan itu sendiri. Nilai daya total merupakan hasil perkalian besaran arus dan besaran tegangan pada sistem. Daya total ini disimbolkan dengan “S” dan dinyatakan dalam satuan VA

Untuk mendefinisikan lebih jelas lagi konsep dari ketiga daya tersebut dapat dilihat pada gambar segitiga daya dibawah ini:



Gambar 2.9 Segitiga Daya.

Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa besaran masing-masing daya adalah sebagai berikut:

$$S = V \times I$$

$$P = V \times I \times \cos \phi$$

$$Q = V \times I \times \sin \phi$$

$\cos \phi$ atau disebut juga dengan faktor daya adalah salah satu parameter penting dalam sistem tenaga listrik. Selain untuk menghubungkan antara ketiga daya diatas, $\cos \phi$ juga merupakan hubungan antar perbedaan sudut arus dan tegangan dalam fungsi waktu. Jika sudut arus mendahului tegangan maka beban dinyatakan bersifat *leading* atau $\cos \phi$ bernilai negatif,



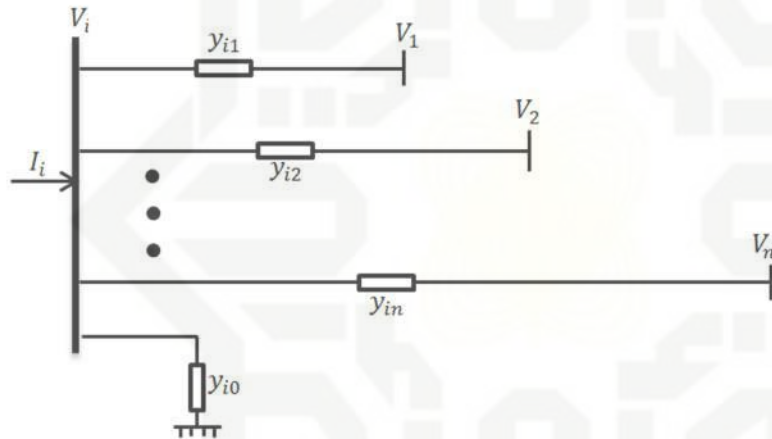
sedangkan jika gelombang arus tertinggal oleh tegangan maka beban tersebut dinyatakan bersifat *lagging* atau $\cos \phi$ bernilai positif.

2.6.2 Persamaan Aliran Daya

Sistem tenaga listrik tidak hanya terdiri dari 2 bus, melainkan terdiri dari beberapa bus yang akan diinterkoniksikan satu sama lain. Daya listrik yang diinjeksikan oleh generator kepada salah satu bus, bukan hanya dapat diserap oleh beban bus tersebut, melainkan juga dapat diserap oleh beban bus yang lain. Kelebihan daya pada bus akan dikirimkan melalui saluran transmisi ke bus-bus lain yang kekurangan daya.

Diagram satu garis beberapa bus dari suatu sistem tenaga diperlihatkan pada ambar

2.10.



Gambar 2.10 Diagram Satu Garis dari N-bus Dalam Suatu Sistem Tenaga

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n)$$

$$I_i = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.3)$$

Kemudian defenisikan:

$$Y_{ii} = y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}$$

$$Y_{i1} = y_{i1}$$

$$Y_{i2} = y_{i2}$$



$$Y_{in} = y_{in}$$

Dalam bentuk matriks admitansi dapat dinyatakan menjadi:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{in} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Sehingga I_i pada persamaan 2.3 dapat dituliskan menjadi:

$$I_i = Y_{ii}V_i + Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n \quad (2.5)$$

$$I_i = Y_{ii}V_i + \sum_{n=1}^n Y_{in}V_n \quad (2.6)$$

Persamaan daya pada bus 1 adalah:

$$I_i jQ_i = V_i I_i \quad \text{dimana } V_i \text{ conjuget pada bus } i$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \quad (2.7)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 2.7 kepersamaan 2.6 maka diperoleh:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i} = Y_{ii}V_i + \sum_{n \neq i}^n Y_{in}V_n \quad (2.8)$$

Dari persamaan 2.8 terlihat bahwa persamaanaliran daya bersifat tidak linier dan harus diselesaikan metode numerik.

2.6.3 Metode Newton-Raphson

Salah satu metode untuk menghitung aliran daya adalah metode *newton-raphson*. Metode ini memiliki perhitungan lebih baik untuk sistem tenaga yang lebih besar dan tidak linier. Metode ini juga memiliki keuntungan dalam hal konvergensi yang jauh lebih cepat dan persamaan aliran daya yang dirumuskan dalam bentuk polar[14].



Pada suatu bus dimana besarnya tegangan dan daya reaktif tidak diketahui, nilai real dan imajiner tegangan untuk setiap iterasi didapatkan dengan menghitung nilai daya reaktif terlebih dahulu. Dari persamaan 2.7 diperoleh:

$$P_i - jQ_i = (Y_{ii}V_i + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^n Y_{in}V_n)V_i \quad (2.9)$$

Dimana $i=n$, sehingga diperoleh:

$$P_i = V_i \sum_{n=1}^n Y_{in}V_n \quad (2.10)$$

$$Q_i = \text{Im}\{V_i \sum_{n=1}^n Y_{in}V_n\} \quad (2.11)$$

Untuk menerapkan metode *Newton-Raphson* pada penyelesaian persamaan aliran daya, tegangan bus dan admitansi saluran dinyatakan dalam bentuk polar.

Selanjutnya uraikan Persamaan (2.9) ke dalam unsur *real* dan *imajiner* maka diperoleh:

$$V_i = |V_i| < \delta_i$$

$$V_n = |V_n| < \delta_n$$

$$V_{in} = |Y_{in}| < \theta_{in}$$

Sehingga didapatkan:

$$P_i - jQ_i = \sum_{n=1}^n |V_i V_n Y_{in}| \angle \theta_{in} + \delta_n \delta_i \quad (2.12)$$

$$P_i = \sum_{n=1}^n |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2.13)$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^n |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2.14)$$

Persamaan (2.13) dan persamaan (2.14) merupakan langkah awal perhitungan aliran daya dengan metode *Newton-Raphson*. Penyelesaian aliran menggunakan proses iterasi $(k+1)$. Untuk iterasi pertama menggunakan nilai $k = 0$ merupakan nilai perkiraan awal yang diterapkan sebelum dimulai perhitungan aliran daya.



Hasil perhitungan daya menggunakan Persamaan (2.13) dan Persamaan (2.14) akan diperoleh nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$. Hasil ini digunakan untuk menghitung nilai $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ menggunakan persamaan berikut:

$$P_i^{(k)} = P_i \text{ diketahui } P_i^{(k)} \text{ dihitung} \quad (2.15)$$

$$Q_i^{(k)} = Q_i \text{ diketahui } Q_i^{(k)} \text{ dihitung} \quad (2.16)$$

Hasil perhitungan Persamaan (2.15) dan Persamaan (2.16) digunakan untuk membentuk matriks *Jacobian*. Persamaan matriks *Jacobian* disusun sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} P_i^{(k)} \\ P_n^{(k)} \\ Q_i^{(k)} \\ Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_i} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_i|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_i^{(k)} \\ \vdots \\ \delta_i^{(k)} \\ |V_n^{(k)}| \\ \vdots \\ |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Secara umum persamaan (2.9) dapat disederhanakan kedalam bentuk:

$$\begin{bmatrix} P^{(k)} \\ Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Unsur *Jacobian* diperoleh dengan membuat turunan parsial dari Persamaan (2.13) dan Persamaan (2.14) kemudian memasukkan nilai tegangan perkiraan pada iterasi pertama. Dari Persamaan (2.13) dan Persamaan (2.14) dapat dituliskan matriks *Jacobian* sebagai berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_n} = |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{n=1}^n |V_i V_n Y_{in}| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (2.20)$$

Bentuk umum yang serupa dapat diperoleh dari persamaan (2.13) dan persamaan (2.14) sehingga dapat dicari untuk submatriks *jacobian* yang lain.



Setelah mendapatkan nilai matriks jacobian selanjutnya dilakukan perhitungan pada nilai $\delta^{(k)}$ dan $|V|^k$ dengan cara melakukan inverse matriks *jacobian*, sehingga diperoleh bentuk persamaan (2.21):

$$\begin{bmatrix} \delta^{(k)} \\ |V|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1/J_2 \\ J_3/J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P^{(k)} \\ Q^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Setelah nilai $\delta^{(k)}$ dan $|V|^k$ didapat, selanjutnya dihitung nilai tersebut untuk iterasi berikutnya, yaitu dengan menambahkan nilai $\delta_i^{(k)}$ dan $|V|_i^{(k)}$ sehingga diperoleh persamaan (2.22) dan persamaan (2.23)

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \delta_i^{(k)} \quad (2.22)$$

$$|V|_i^{(k+1)} = |V|_i^{(k)} + |V|_i^{(k)} \quad (2.23)$$

Hasil perhitungan Persamaan (2.22) dan Persamaan (2.23) digunakan lagi dalam proses iterasi selanjutnya, yaitu dengan memasukkan nilai hasil ke dalam Persamaan (2.13) dan Persamaan (2.14) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Proses ini dilakukan secara terus menerus sampai diperoleh nilai yang konvergen.

Secara ringkas, metode penyelesaian aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Hitung nilai-nilai $P_{dihitung}$ dan $Q_{dihitung}$ yang mengalir ke dalam sistem pada setiap bus untuk nilai yang diperkirakan dari besar tegangan (V) dan sudut fasanya (δ) untuk iterasi pertama atau nilai tegangan yang ditentukan paling akhir untuk iterasi berikutnya
2. Hitung Δp pada setiap rel
3. Hitung nilai-nilai untuk *Jacobian* dengan menggunakan nilai-nilai perkiraan atau yang ditentukan dari besar dan sudut fasa tegangan dalam persamaan untuk turunan parsial yang ditentukan dengan persamaan diferensial Persamaan (2.21) dan Persamaan (2.22)
4. *Inverse* matriks *jacobian* dan hitung koreksi koreksi tegangan δ_i dan $|V|_i$ pada setiap rel



5. Hitung nilai yang baru $|V_i|$ dan δ_i dengan menambahkan nilai δ_i dan $|V_i|$ pada setiap rel
6. Kembali ke langkah 1 dan ulangi proses tersebut dengan menggunakan nilai besar dan sudut fasa tegangan yang ditentukan oleh nilai hasil terakhir sehingga semua nilai yang diperoleh lebih kecil dari indeks ketepatan yang dipilih.

2.7 Definisi Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem untuk mempertahankan level tegangan pada setiap busnya baik dalam kondisi normal dan juga dalam kondisi saat terjadi gangguan. Sebuah sistem dikatakan memasuki tahap tidak stabil ketika sebuah gangguan, penambahan beban, atau perubahan kondisi dari sistem menyebabkan penurunan tegangan yang tidak bisa dikendalikan. Salah satu penyebab dari ketidakstabilan adalah ketidakmampuan sistem untuk memenuhi kebutuhan daya dari beban.

Penyebab utama drop tegangan muncul terjadi ketika daya aktif dan daya reaktif dari aliran daya melewati impedansi dari jaringan. Ketidakstabilan tegangan adalah fenomena lokal yang sangat penting, karena jika tidak diselesaikan secara cepat maka gangguan tersebut akan menyebar dan menyebabkan efek yang meluas. *Voltage collapse* lebih kompleks jika dibandingkan dengan ketidakstabilan tegangan dan biasanya merupakan hasil dari ketidakstabilan tegangan yang terjadi secara berkelanjutan dan menyebabkan penurunan tegangan yang signifikan pada seluruh sistem.

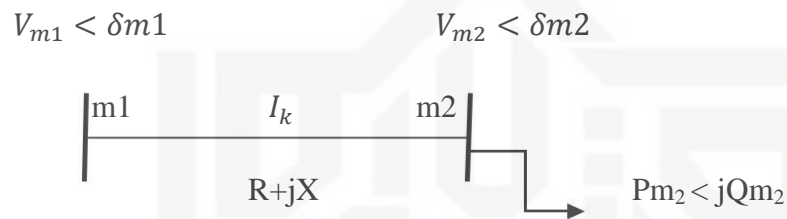
2.7.1 Perumusan *Voltage Stability Index* (VSI)

Salah satu cara menentukan tingkat kestabilan tegangan sistem adalah dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI). Metode ini memberikan indeks kepada tiap-tiap bus pada sistem. Indeks yang diberikan ≥ 0 , semakin mendekati 0 nilai indeks tersebut menandakan tingkat kestabilan sistem tersebut semakin rendah, sehingga dari hasil metode ini penentuan lokasi DG akan didasarkan pada bus yang memiliki indeks terendah[15].



Untuk menghitung nilai *Voltage Stability Index* (VSI) maka diperlukan data hasil dari analisa aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Untuk menghitung nilai kestabilan dari sebuah bus menggunakan *Voltage Stability Index* (VSI) akan dijelaskan menggunakan rangkaian ekivalen antara dua buah bus seperti pada gambar 2.11 berikut :

Ketidakstabilan tegangan dapat terjadi dalam berbagai kondisi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.11 yang merupakan ilustrasi sederhana dari jaringan distribusi radial.



Gambar 2. 11 Rangkaian Sederhana 2 Bus

Dari rangkaian ekivalen diatas maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$I_k = \frac{V_1 - V_2}{R_k + jX_k} \quad (2.24)$$

$$P_{m2} - jQ_{m2} = V_{m2} I_k \quad (2.25)$$

Dimana:

I_k : Arus pada saluran

m1 : ujung sisi pengirim

m2 : ujung sisi penerima

V_{m1} : Tegangan pada titik m1

V_{m2} : Tegangan pada titik m2

P_{m2} : Total daya aktif beban pada titik m2 dan setelahnya



Q_{m2} : total daya reaktif beban pada titik m2 dan setelahnya

Jika persamaan 2.3 dan 2.4 digabungkan maka akan menjadi persamaan berikut:

$$|V_{m2}|^4 + 2(P_{m2}R_k + Q_{m2}X_k - 0.5|V_{m2}|^2)|V_{m2}|^2 + (P_{m2}^2 + Q_{m2}^2)Z_k^2 = 0 \quad (2.26)$$

Dengan melakukan penyederhanaan maka persamaan (2.26) dapat disederhanakan menjadi:

$$b_k = 2(P_{m2}R_k + Q_{m2}X_k - 0.5|V_{m2}|^2) \quad (2.27)$$

$$c_k = (P_{m2}^2 + Q_{m2}^2)Z_k^2 \quad (2.28)$$

$$h_k = 0 \quad (2.29)$$

Dengan menyubstitusikan persamaan (2.27), (2.28), (2.29) kedalam persamaan (2.24), maka didapatkan persamaan yang lebih sederhana sebagai berikut:

$$|V_{m2}|^4 + b_k|V_{m2}|^2 + c_k = 0 \quad (2.30)$$

Persamaan (2.9) memiliki empat kemungkinan jawaban untuk nilai V_{m2} yaitu:

$$\begin{aligned} &0.707[b_k - (b_k^2 - 4c_k)^{0.5}]^{0.5} \\ &-0.707[b_k - (b_k^2 - 4c_k)^{0.5}]^{0.5} \\ &-0.707[b_k + (b_k^2 - 4c_k)^{0.5}]^{0.5} \\ &0.707[b_k + (b_k^2 - 4c_k)^{0.5}]^{0.5} \end{aligned}$$

Penyelesaian kedua dan ketiga dari kemungkinan jawaban diatas tidak dapat digunakan sebagai penyelesaian karena memiliki nilai yang negatif.

$$0.707[b_k + (b_k^2 - 4c_k)^{0.5}]^{0.5} \quad (2.31)$$

Dari persamaan (2.31) dapat digeneralisasi bahwa solusi aliran daya dari sistem radial mempunyai solusi penyelesaian jika dan hanya jika:

$$b_k - 4c_k \geq 0 \quad (2.32)$$



Dengan menyubstitusikan nilai b_k dan c_k dari persamaan (2.27) dan (2.28) kedalam persamaan (2.32) maka akan didapatkan persamaan:

$$(|V_{m1}|^2 - 2P_{m2}R_k - 2Q_{m2}X_k)^2 - 4(P_{m2}R_k + Q_{m2}X_k)|V_{m1}|^2 \geq 0 \quad (2.33)$$

Persamaan diatas akhirnya dapat disederhanakan kembali menjadi:

$$|V_{m1}|^4 - 4(P_{m2}R_k - Q_{m2}X_k)^2 - 4(P_{m2}R_k + Q_{m2}X_k)|V_{m1}|^2 \geq 0 \quad (2.34)$$

Maka akan didapatkan nilai *voltage stability indeks* dapat dicari melalui persamaan berikut:

$$VSI_8 = |V_{m1}|^4 - 4(P_{m2}X_k - Q_{m2}R_k)^2 - 4(P_{m2}R_k + Q_{m2}X_k)|V_{m1}|^2 \quad (2.35)$$

Dimana VSI_8 adalah *voltage stability indeks* pada bus 8 untuk nilai dari *voltage stability indeks* sendiri harus lebih besar sama dengan 0. Untuk operasi matematika dapat digantikan dengan nilai i yang diartikan bus. $VSI(i) \geq 0$ dengan $(i) = 2,3,4,5,6, \dots$, dst (sebanyak jumlah bus yang ada pada sistem distribusi).

2.8 Penentuan kapastias DG

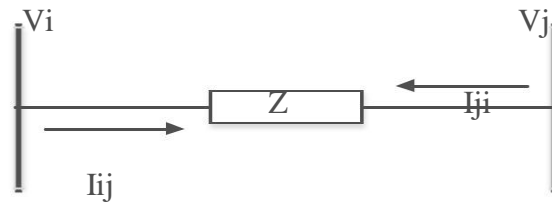
- DG dianggap sebagai beban negatif.
- DG digunakan sebagai sumber daya eksternal yang meninjeksikan daya aktif dan reaktif kedalam system.
- Ukuran *DG* maksimum adalah 40% dari total beban yang ditanggung sistem.
- *DG* ditempatkan pada bus yang memiliki nilai *VSI* paling rendah.

2.9 Rugi Saluran

Setelah mengetahui nilai tegangan dan arus pada setiap bus dan saluran dengan solusi perhitungan iterasi, kemudian rugi saluran dapat diidentifikasi. Anggap sebuah saluran menghubungkan dua bus i dan bus j yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 Arus saluran I_{ij} terukur pada bus i dan didefinisikan positif pada arah maju sedangkan I_{ji} didefinisikan negatif pada arah mundur [14].



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.12 Contoh saluran sederhana

$i \rightarrow j$ didefinisikan dengan

$$I_{ij} = I_i = Z_{ij}(V_i - V_j) \quad (2.36)$$

$j \rightarrow i$ didefinisikan dengan

$$I_{ji} = -I_i I_{ij} = I_i = Z_{ij}(V_i - V_j) \quad (2.37)$$

Daya kompleks yang didapatkan untuk bus i ke j dan bus j ke i adalah

$$S_{ij} = V_i * V_{ij} \quad (2.38)$$

$$S_{ji} = V_j * V_{ji} \quad (2.39)$$

Rugi saluran dalam saluran i-j dapat dijabarkan dengan penjumlahan persamaan 2.40 dan 2.41 sebagai berikut:

$$S_{ii} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.40)$$

$$P_{ii} = \text{real}(S_{ii}) \quad (2.41)$$

2.11 Pengertian DG

Distributed Generation (DG) adalah sebuah sumber energi listrik yang terhubung langsung pada jaringan distribusi atau jaringan dekat konsumen atau pengguna[3].

Berdasarkan kapasitasnya, *Distributed Generation* dibagi menjadi empat kategori:

1. *Micro distributed generation*: 1 Watt < 5 kW



2. *Small distributed generation* : 5 kW < MW
3. *Medium distributed generatin* : 5 MW < 50 MW
4. *Large distributed generation* : 50 MW < 300 MW

Berdasarkan teknologinya, *Distributed Generation* dibagi menjadi tiga kategori:

1. *Renewable distributed generation*
2. *Modular distributed generation*
3. *Combined Production of Heat and Power (CHP) distributed generation*

Teknologi DG dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan sumber energinya, terbarukan dan tidak terbarukan. Bagian dari teknologi terbarukan adalah energi matahari, cahaya atau termal, angin, geothermal, dan lautan. Kemudian untuk bagian dari teknologi tidak terbarukan adalah pembakaran internal pada mesin, siklus gabungan, turbin pembakaran, turbin mikro. dan *fuel cell*. Kebanyakan sumber energi DG didesain menggunakan energi hijau yang diasumsikan bebas polusi.

Pada tahun-tahun sebelumnya, instalasi DG menunjukkan peningkatan jumlah pertumbuhannya pada jaringan distribusi di seluruh dunia diakibatkan peningkatan promosi utilisasi dari sumber energi terbarukan dan pengembangan sistem pembangkit terbantu. Seperti yang kita ketahui DG memberikan efek pada aliran daya dari sistem yang terasosiasi pada jaringan distribusi, rugi-rugi daya pada jaringan tersebut juga akan terpengaruhi.

DG pada jaringan distribusi berfungsi untuk berbagai tujuan: mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan profil tegangan pada penyulang, dan meningkatkan jumlah maksimum daya yang dialirkan pada kabel dan transformator.

2.12 Pengertian ETAP

Electric Transient Analysis Program (ETAP) merupakan suatu software (perangkat lunak) yang digunakan suatu sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat bekerja dalam keadaan offline



yaitu untuk simulasi tenaga listrik, dan juga dalam keadaan online untuk pengelolaan data real time. Analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan ETAP antara lain :

- Analisa Aliran Daya (*Load Flow Analysis*)
- Analisa Hubung Singkat (*Short Circuit Analysis*)
- Motor Starting
- *Arc Flash Analysis*
- Harmonics Power System
- Analisa Kestabilan Transien (*Transient Stability Analysis*)
- *Protective Device Coordination*

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja menggunakan ETAP antara lain:

1. *One Line Diagram*, merupakan notasi yang disederhanakan untuk sebuah sistem tenaga listrik tiga fasa. Sebagai ganti dari representasi saluran tiga fasa yang terpisah, digunakanlah sebuah konduktor. Hal ini memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisa rangkaian.
2. Library, merupakan informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam sistem kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi ataupun analisa.
3. Standar yang dipakai, biasanya mengacu pada standar IEC dan ANSI. Perbedaan antara standar IEC dan ANSI terletak pada standar frekuensi yang digunakan yang mengakibatkan perbedaan spesifikasi peralatan yang digunakan. Jika pada standar IEC nilai frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz, sedangkan pada standar ANSI nilai frekuensi yang digunakan adalah 60 HZ.